

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995  
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37

Наш № 20/12-320

«1» июля 2003 г.

## С П Р А В К А

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки №2003108508 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в марте месяце 28 дня 2003 года (28.03.2003).

**Название изобретения:**

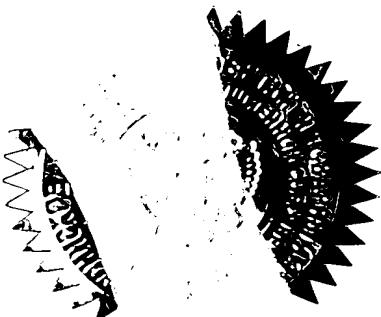
Способ восстановления высокочастотной составляющей аудио сигнала и устройство для его реализации

**Заявитель:**

Корпорация «Самсунг Электроникс» Самсунг Электроникс Ко.,Лтд (KR)  
СПИРИТ Корп., (RU)

**Действительные авторы:**

Петухов Андрей Сергеевич (RU)  
Свириденко Владимир Александрович(RU)  
Юдина Татьяна Михайловна (RU)  
Жеон Сеун-хан (KR)



Заведующий отделом 20

А.Л.Журавлев

**Способ восстановления высокочастотной составляющей аудио  
сигнала и устройство для его реализации**

5 Изобретение относится к радиоэлектронике, более конкретно – к средствам цифровой обработки сигналов и может использоваться для улучшения качества аудио сигналов.

Известны способы и устройства для повышения качества аудио сигналов, воспринимаемых слушателями, путем восстановления характеристик высокочастотной составляющей, утраченных при передаче по каналам с малой пропускной способностью или при кодировании. Описанный в патенте РФ 2,194,361 [1] способ восстановления утраченной информации в аудио сигнале предусматривает использование специальной системы кодирования и декодирования цифровых данных, при этом цифровые данные разделяются на блоки цифр в порядке убывания значимости цифр, что позволяет при воспроизведении с достаточной точностью восстанавливать структуру блоков. Более простые способы основаны на генерации корректирующего сигнала, путем обработки оставшейся низкочастотной составляющей, и подмешивания корректирующего сигнала к исходному сигналу. Например, в патентах США 6,335,973 [2] и 6,023,513[3] предлагается осуществлять генерацию высокочастотных гармоник из низкочастотной составляющей сигнала. Обычно для этих целей используются нелинейные преобразования. Известен также способ формирования высокочастотной составляющей на основе генератора высокочастотного шума, при этом параметры шума выбираются путем анализа низкочастотной составляющей сигнала (см. патент США 5,754,666 [4]). Однако, наиболее близким к предлагаемому

- является способ, описанный в патенте США 5,893,068 [5]. В нем предлагается осуществлять перевод сигнала в частотную область путем использования преобразования Фурье. Высокочастотная добавка получается за счет растяжения низкочастотных составляющих спектра.
- 5 Тем не менее, из-за особенностей слуха, а именно в связи с тем, что частотное разрешение человеческого уха убывает с ростом частоты звука, простое растяжение или сдвиг спектра не позволяют добиться слухового восприятия, близкого к оригиналу.
- 10 Предлагаемое изобретение, как и в [5], воссоздает утраченную высокочастотную составляющую из оставшейся низкочастотной части спектра, но, в отличие от [5], в нем не требуется перевода сигнала в частотную область (преобразование Фурье и др.), что позволяет реализовывать заявляемый способ с помощью несложных устройств, 15 обеспечивая относительно высокое качество восстановленного сигнала. При этом учитывались физиологические особенности восприятия слушателем разных диапазонов частотного спектра аудио сигнала. Проведенные эксперименты показали, что чисто механического, т. е. идентичного с оригиналом, воссоздания высокочастотной 20 составляющей звукового спектра, как правило, не требуется. Чем выше частота воспринимаемого звука, тем меньшее значение имеет точность воспроизведенных частот, и для реалистичной передачи звуков достаточно приблизительно восстановить их энергетическую составляющую. В большинстве случаев, достаточно получить 25 корректирующий сигнал с уровнем энергии на высоких частотах примерно равным оригиналу. Кроме того, энергии близких частот аудио сигнала коррелированы между собой. Поэтому, для решения задачи по восстановлению аудио сигнала, близкого по восприятию к исходному, высокочастотную составляющую формируют из оставшейся

низкочастотной составляющей путем инверсии спектра исходного сигнала во временной области.

Таким образом, основным отличительным признаком предлагаемого способа по сравнению с прототипом [5] является получение высокочастотной составляющей за счет инверсии спектра входного цифрового сигнала. При этом инверсию спектра в цифровом сигнале осуществляют путем изменения знака каждого второго отсчета. Сигнал с инвертированным спектром фильтруют и сдвигают по частоте, во избежание перекрытия частотных диапазонов исходного сигнала и корректирующего, благодаря чему основную часть спектра входного сигнала сохраняют неизмененной.

Предлагаемый способ поясняется чертежом (Фиг. 1), на котором изображена структурная блок-схема устройства для восстановления высокочастотной составляющей путем инверсии спектра.

Сноски (а)-(е) схематично показывают спектр сигнала на разных этапах обработки.

На Фиг.2 приведена функциональная блок-схема реализованного устройства.

Фиг. 1 иллюстрирует основную идею использования инверсии спектра для восстановления утраченной высокочастотной составляющей.

Входной сигнал (а) проходит через частотный инвертор 1, в котором каждый второй отсчет входного аудио сигнала меняет знак. При этом на сноске (а) схематично изображен спектр входного дискретного аудио сигнала. По оси А откладываются значения амплитуды аудио сигнала, а по оси F – частоты. Пунктирной линией показана отсутствующая высокочастотная составляющая, которую требуется восстановить.

Спектр на выходе частотного инвертора 1 показан на сноске (б). Именно этот сигнал используют в качестве основы для формирования корректирующего сигнала.

Как правило, энергия аудио сигнала убывает с ростом частоты, но для 5 сигнала с инвертированным спектром это правило неприменимо, и сигнал нуждается в корректировке, т. е. ослаблении высокочастотных составляющих, чтобы спектр сигнала напоминал естественный. Для 10 ослабления высокочастотных составляющих применяют полосовой фильтр 2. Этот фильтр имеет переменную полосу пропускания, чтобы обеспечить отсечку присутствующей в сигнале излишне сильной 15 высокочастотной составляющей, образовавшейся после инверсии входного сигнала. Спектр сигнала на выходе полосового фильтра 2 показан на сноске (с). Пунктирной линией показана отфильтрованная часть спектра сигнала. Сигнал после полосового фильтра 2 сдвигают по 20 частоте с помощью использования преобразователя частоты 3, таким образом, чтобы предотвратить наложение спектров корректирующего и восстановляемого сигналов, как показано на сноске (д). Сигнал на выходе преобразователя частоты является корректирующим и с помощью сумматора 4 добавляется к входному сигналу (а). Спектр восстановленного сигнала показан на сноске (е).

Предполагается, что частотный диапазон известен в каждый момент времени: такая информация может быть получена непосредственно с декодера (на чертеже не показан) при декодировании входного сигнала. Рассмотрим, как при таких условиях могут быть реализованы частотный 25 инвертор 1 и полосовой фильтр 2, изображенные на Фиг.1.

Функциональная блок-схема варианта такого устройства приведена на Фиг. 2. Она представляет собой модифицированную схему перестраиваемого гетеродинного фильтра, который производит как инверсию частоты, так и фильтрацию. Объединение этих операций

возможно благодаря тому, что гетеродинный фильтр модулирует входной сигнал комплексным сигналом (комплексной экспонентой), а операция инверсия спектра, как известно, может рассматриваться как результат модуляции. Рассмотрим, как преобразуется спектр сигнала в устройстве. Поскольку устройство использует комплексное представление сигналов, везде будем рассматривать комплексные спектры. Форма амплитудного спектра входного сигнала была ранее показана на Фиг. 1 в сноске (а), где, для упрощения, не приведена симметричная составляющая спектра.

Входной сигнал поступает на вход умножителя 21 и умножается на  $\cos(\omega t)$ , формируемый генератором 20, а также на вход умножителя 22, где умножается на  $\sin(\omega t)$ , формируемый генератором 21. Понимается, что  $t$ - время,  $\omega = 2\pi f$ , где  $f$ -частота среза входного сигнала, которая может изменяться со временем. Этот этап реализует умножение действительного сигнала на комплексную экспоненту, согласно формуле Эйлера:

$$e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

где  $j$  обозначает мнимую единицу.

Действительная и мнимая части полученного сигнала поступают на вход фильтров низких частот 24 и 25 соответственно. Фильтры 24 и 25 одинаковые. Действительная часть сигнала умножается в умножителе 27 на  $\cos(\omega t)$ , формируемый генератором 20, а мнимая часть поступает на вход умножителя 28, где умножается на  $-\sin(\omega t)$ , формируемый генератором 22, за счет чего обеспечивается изъятие мнимой части сигнала. Сигналы с выходов умножителей 27 и 28 складываются в сумматоре 31. Блоки 27, 28 и 31 реализуют алгоритм умножения

комплексного сигнала на комплексную экспоненту  $e^{j\omega t}$  и взятие действительной части от полученного комплексного сигнала.

$$\operatorname{Re}[(x + j \cdot y) \cdot e^{j\omega t}] = \operatorname{Re}[(x + j \cdot y)(\cos(\omega t) + j \cdot \sin(\omega t))] = x \cdot \cos(\omega t) - y \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

5

Полученный сигнал складывается с исходным сигналом в сумматоре 30.

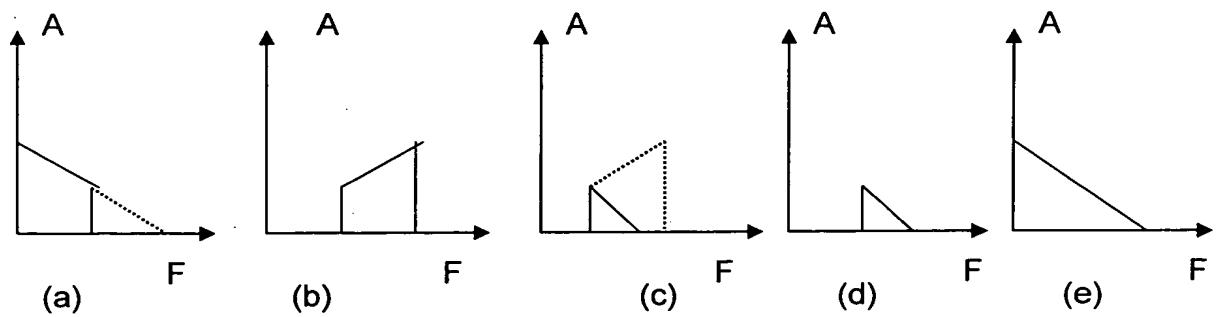
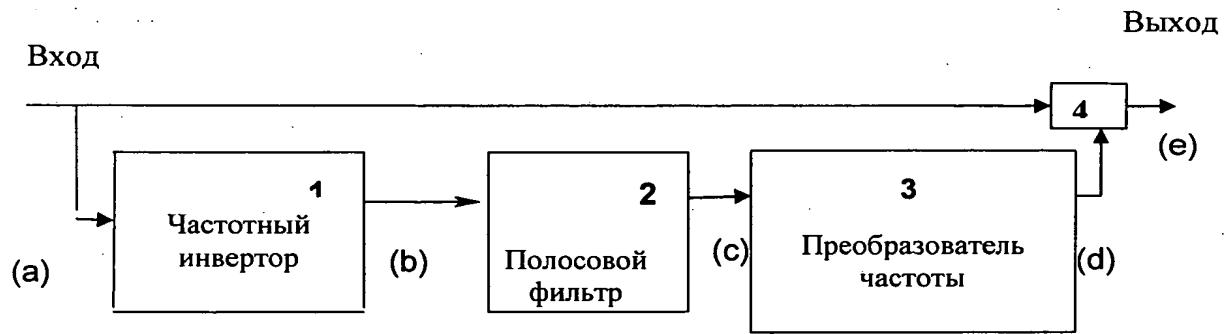
Таким образом, конструкция устройства для реализации предлагаемого способа восстановления высокочастотной составляющей аудио сигнала 10 включает в себя сумматор 30, выход которого является выходом устройства, первый вход сумматора 30 подключен к источнику требующего корректировки сигнала, т. е. к входу устройства, а второй вход подключен к выходу сумматора 31, первый вход которого подключен к выходу умножителя 27, а второй вход соединен с выходом 15 умножителя 28. Входы умножителей 27 и 28 подключены к выходам низкочастотных фильтров 24 и 25, соответственно. Вход низкочастотного фильтра 24 подключен к выходу умножителя 21, а вход низкочастотного фильтра 25 подключен к выходу умножителя 22, при этом входы умножителей 21 и 22 подключены к входу устройства. 20 Вторые входы умножителей 21 и 27 подключены к выходу генератора 20, а вторые входы умножителей 22 и 28 подключены к выходам генераторов 22 и 28, соответственно.

Простота конструкции, реализующей предлагаемый способ восстановления высокочастотной составляющей аудио сигнала, 25 позволяет использовать ее даже в бытовой технике, обеспечивая высококачественное воспроизведение цифровых записей, полученных по каналам с узкой полосой пропускания.

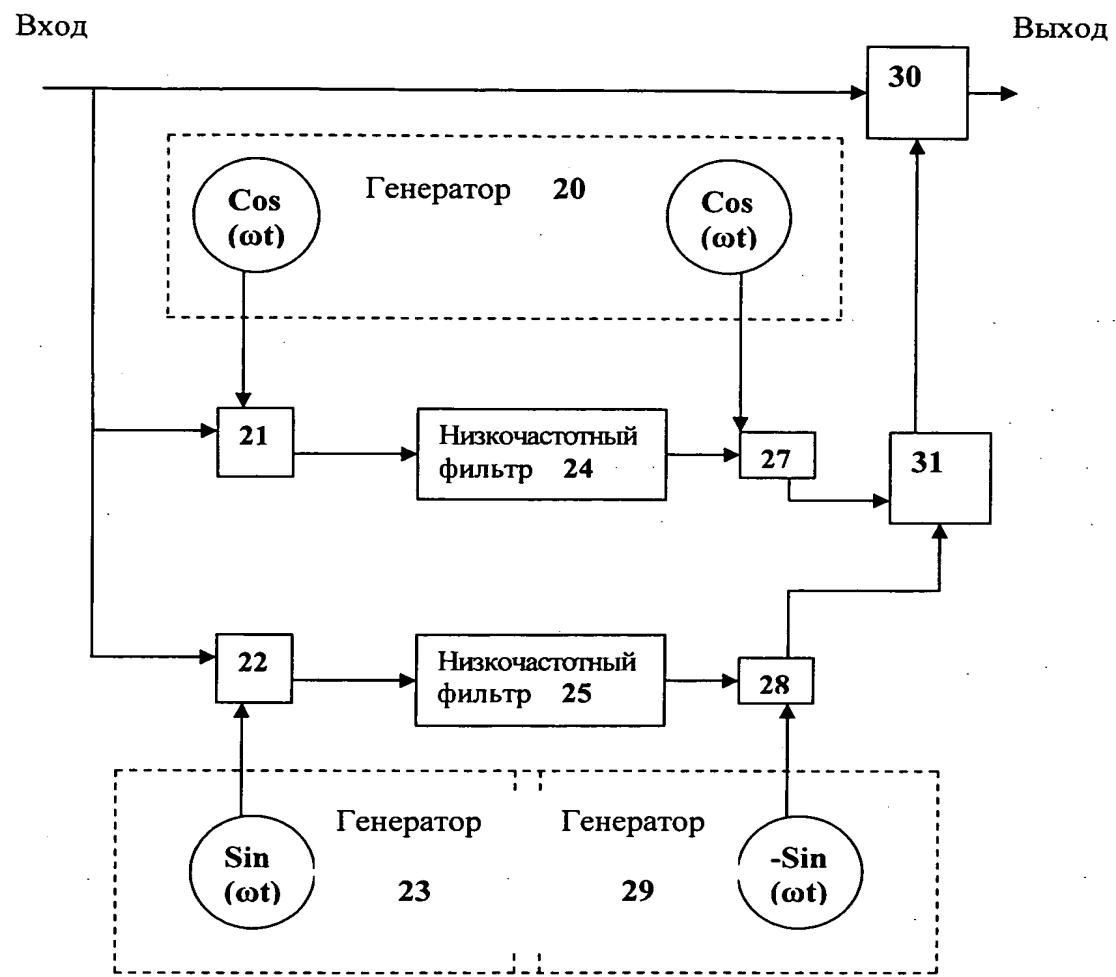
## Формула изобретения

1. Способ восстановления высокочастотной составляющей аудио сигнала путем добавления к входящему аудио сигналу высокочастотного сигнала, сформированного путем преобразования сохранившейся низкочастотной составляющей аудио сигнала, отличающийся тем, что добавочный высокочастотный сигнал формируют путем частотного инвертирования входного сигнала с последующей фильтрацией и сдвигом по частоте.  
5
10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что частотное инвертирование и сдвиг по частоте осуществляют путем умножения входного сигнала на дополнительно сгенерированные синусоидальные и косинусоидальные сигналы, частота которых равна частоте среза входного сигнала.
15. Устройство для восстановления высокочастотной составляющей аудио сигнала, состоящее из сумматора, выход которого является выходом устройства, первый вход сумматора подключен к входу устройства, второй вход подключен к выходу второго сумматора, первый вход которого подключен к выходу первого умножителя, второй вход соединен с выходом второго умножителя, при этом первый вход первого умножителя подключен к выходу первого низкочастотного фильтра, а второй вход первого умножителя подключен к выходу генератора косинусоидальных сигналов в форме  $\cos(\omega t)$ , первый вход второго умножителя подключен к выходу второго низкочастотного фильтра, а второй вход второго умножителя подключен к выходу генератора синусоидальных сигналов с обратным знаком в форме  $-\sin(\omega t)$ , вход первого низкочастотного фильтра подключен к выходу третьего умножителя, вход второго низкочастотного фильтра подключен к:
- 20
- 25

выходу четвертого умножителя, первые входы третьего и четвертого умножителей подключены к входу устройства, а вторые входы третьего и четвертого умножителей подключены к выходам генераторов косинусоидальных и синусоидальных сигналов, соответственно, при этом второй умножитель имеет прямую зависимость от дополнительно сгенерированного синусоидального сигнала с обратным знаком.



Фиг. 1



Фиг. 2

## Реферат

Изобретение касается способа и устройства для восстановления  
5 высокочастотной составляющей аудио сигнала, которая может быть  
утрачена в результате передачи по каналу с полосой пропускания  
меньшей, чем частотный диапазон сигнала.

Способ восстановления заключается в формировании высокочастотной  
добавки к исходному сигналу, причем добавка формируется путем  
10 фильтрации частотно инвертированного входного сигнала. Устройство  
включает в себя инвертор спектра, полосовой фильтр с переменной  
полосой пропускания для выделения сохранившейся части  
низкочастотной составляющей сигнала, преобразователь частоты,  
обеспечивающий перенос спектра отфильтрованного сигнала выше  
15 частоты среза входного сигнала и сумматор для сложения исходного  
сигнала и добавочного сигнала. 2 фиг., 2 н. п.